ATM망에서 다중 우선순위 기반의 셀 스케줄링 알고리즘

권재우[†] · 구본혁[††] · 조태경[†††] · 최명렬[††††]

요 약

본 논문에서는 ATM 망이 수용하고 있는 모든 서비스 클래스에 대해 적용 가능한 다중 우선순위 기반의 셀 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 각 서비스 클래스의 우선순위를 4 계층으로 분류하고, 각 서비스 클래스에 대한 가중치를 연결 설정시에 협정한 트래픽 변수(parameter)에 근거하여 생성한다.

제안한 알고리즘은 실시간 서비스인 CBR(Constant Bit Rate) 및 rt_VBR(Real-time Variation Bit Rate) 서비스를 우선적으로 서비스하여 지연에 민감한 트래픽의 QoS(Quality of Service)를 보장하였으며, 트래픽 전송이 지연될 경우 대역폭의 대소에 관계없이 우선적으로 전송할 수 있는 가중치를 둠으로써 작은 트래픽이라도 큐 내에서 지연되는 것을 최소화하였다.

제안한 셀 스케줄링 알고리즘의 효용성을 입증하기 위해 기존의 셀 스케줄링 알고리즘과 비교한 모의실험을 수행하였고, 그 결과를 제시한다.

A Cell Scheduling Algorithm based on Multi-Priority in ATM Network

Jae-Woo Kwon[†], Bon-Hyouk Ku[††], Tae-Kyung Cho[†††] and Myung-Ryul Choi[††††]

ABSTRACT

In this paper, a cell scheduling algorithm which can be applied to all of the service class in ATM network is proposed. The proposed algorithm classifies the order of priority in each service class into 4 categories and generates the weight of each class service based on the traffic parameters which are negotiated in connection contract.

The proposed algorithm guarantees QoS(Quality of Service) to the traffic which is sensitive to delay carrying out CBR and rt_VBR service. As it effectively manages the connection which has small bandwidth, it minimizes the cell delay in the queue. For verifying the effectiveness of the proposed algorithm the proposed algorithm is simulated with existing cell scheduling algorithm and the result is showed.

1. 서 론

ATM 망은 통계적 다중화 기법을 사용하여 대역폭의 활용도를 극대화하고, 고정된 크기의 셀을 사용하여 고속의 데이터 전송을 추구한다. 그러나 ATM 망에서 가입자의 QoS를 보장하기 위해서는 일련의 트래픽 제어 기능이 제공되어져야 한다. 트래픽 제어와 관련해 ITU-T I.371 권고안에서는 사용 변수 제어(UPC : Usage Parameter Control), 자원 관리(Resource Management), 우선 순위 제어(Priority Control) 및 트래픽 정형화(Traffic Shaping) 등을 정의하고 있다. 또한 최근에는 ABR(Available Bit Rate) 트래픽에 대한 트래픽 제어로 선택적 셀 폐기 및 명시적 전방향 폭주 표기(EFCI : Explicit Forward Congestion Indication)등이 연구되어지고 있다[1]. ATM 망에서 사용되는 정형화기(Shaper)는 다수의 가상 연결(Virtual Connection)을 효율적으로 수용하여 출력 링크의 이용도를 높이고, 동시에

[†] 한양대학교 전자·전기·제어공학과 석사 과정
[††] 준회원, LG전자 중앙연구소 ATM H/W 실 연구원
[†††] 동서울대학 전기과 조교수
[††††] 정회원, 한양대학교 전자·전기·제어공학과 부교수

연결수락 제어(CAC : Connection Admission Control)에 의해 결정된 각 가상 연결의 트래픽 변수를 위반하지 않도록 출력 셀의 특성을 변경하는 기능이다. 즉 정형화기는 출력 링크를 효율적으로 이용하여야 하는 측면과, ATM 망에 연결되어 있는 가입자들에게 일정한 QoS를 보장하여야 하는 두 가지 측면을 고려하여 설계해야 한다.

본 논문에서는 모든 트래픽 클래스에 대해 적용 가능하고 대역폭이 작은 연결에 대해서도 공정한 서비스를 보장하는 다중 우선순위 기반의 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하고 이를 기존의 알고리즘들과 비교하여 성능의 우수성을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 정형화기 및 스케줄링 알고리즘에 대하여 개괄하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 스케줄링 알고리즘 및 정형화기의 구조를 기술하고, 장점을 논한다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 성능평가를 위한 모의실험을 수행하여 그 결과를 제시하고 성능평가를 하였다. 5장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 기존의 정형화기

정형화기에는 연결 설정(Connection Setup)시에 논리적 출력 셀 슬롯을 결정하고 연결이 종료될 때까지 논리적 출력 셀 슬롯을 유지하는 연결 기반 정형화기(Connection-Based Shaper)와 입력되는 매 셀에 대한 출력시간을 계산하는 셀 기반 정형화기(Cell-Based Shaper)로 대별할 수 있다[2].

2.1 연결 기반 정형화기

그림 1에 도시한 연결 기반 정형화기의 구조에서 스케줄러의 주된 역할은 순환 캘린더를 생성하는 것으로 순환 캘린더의 크기 (K)는 설정된 연결 중에서 최소 전송률을 갖는 연결이 순환 캘린더를 1회 순환하는 동안 요구한 전송률이 보장되도록 결정한다. 또한 순환 캘린더 내에 특정 연결 (C_i)에 대해 할당되는 엔트리의 개수 (S_i)와 엔트리간의 간격 (T_i)은 식 (1)에 의해 구할 수 있다.

$$S_i = \lceil \frac{P_i}{C} K \rceil, \quad T_i = \frac{K}{S_i} \qquad (1)$$

식 (1)에서 P_i는 연결 i의 최대 셀 전송률(PCR: Peak Cell Rate), C는 출력 링크의 대역폭을 의미하며, $\lceil x \rceil$은 x보다 크거나 같은 정수를 돌려주는 함수이다.

이러한 연결 기반 정형화기에서 해결하여야 할 과제로는 새로운 연결 (C_i)가 설정되어 순환 캘린더(K개의 엔트리로 구성)를 재구성 할 때에 기존에 설정되어 있는 연결에 대한 QoS를 보장하면서 새로운 연결에 대한 엔트리 할당이 T_i를 만족시킬 수 있는 효율적인 엔트리 할당 알고리즘을 개발하는 것이다. 연결 기반 정형화기에서 사용하는 대표적인 스케줄링 알고리즘으로는 WRR(Weighted Round Robin)이 있다[2,3]. WRR은 각 가상 연결(Virtual Connection)을 통하여 입력되는 셀 들을 각기 독립된 큐에 저장하고, 각 큐의 서비스는 CAC 수행시에 결정된 라운드(Round)에 따라 순환적으로 행한다. 라운드는 여러 개의 슬롯으로 구성되며, 각 슬롯은 특정 가상 연결에 대해 할당된 큐를 지정하고 있거나 비어(Idle Slot) 있다. WRR 스케줄러는 빈 슬롯에 대해서는 셀을 전송하지 않고 다음 슬롯이 지시하고 있는 큐에 저장되어 있는 셀을 전송한다.

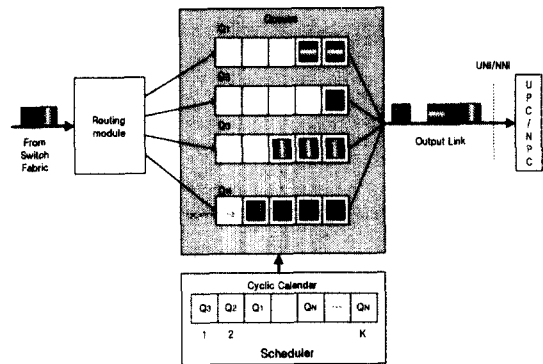



그림 1. 연결 기반 정형화기의 구조

WRR의 성능은 가상 연결 j에 대한 라운드 내의 서비스 순서(Sequence) f^j와 라운드를 구성하고 있는 전체 슬롯의 개수 K의 결정에 달려 있다. 이 알고리즘의 문제점으로 다른 큐에 셀이 없을 경우에 계속해서 특정한 큐의 셀들만 서비스해 주는 경우가 생기며, 이 경우에는 서비스의 공정성을 만족시킬 수 없을 뿐만 아니라 아니라 다음 홉(Hop)의 ATM 노드의 입력단에서 수행하는 UPC/NPC에 의해서 폐기될 확률이 높아지게 된다.

2.2 셀 기반 정형화기

셀 기반 정형화기는 매 사이클마다 다음 셀 사이클에 전송할 셀을 결정한다. 동시에 유입되는 셀은 정해진 방식에 따라 버퍼링된다. 셀 기반 정형화기에서 사용하는 동적 스케줄링 알고리즘은 유입되는 셀들을 해당 연결에 따라 서로 다른 큐에 저장하고, 매 출력 셀 사이클마다 서로 다른 상태 변수를 근거로 하여 다음에 송출할 셀을 결정한다. 이때 사용되어지는 상태변수로는 큐의 길이, 마지막 셀의 도착 시간, 큐 내에서 대기한 평균/최대 시간 등이 있다. 이러한 선택은 보다 일반적인 방법에 의해서 행해지기도 한다. 즉 대기시간의 최소화, 메모리 요구량, 연결간의 공정성등이 있다. 셀 기반 스케줄러가운데 가장 대표적인 알고리즘으로 WFQ(Weighted Fair Queueing)이 있다.

WFQ 알고리즘[5]에서는 가상 시간(Virtual Time)의 개념을 도입하여 패킷 단위의 서비스를 제공하는 알고리즘으로 P-GPS(Packet GPS)라고 칭하기도 한다. WFQ에서 사용하는 가상 시간 $v(t)$는 식 (2)와 같이 정의한다.

$$v(0) = 0$$
$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{1}{\sum_{j \in B(\tau)} \Phi_j}, \quad \forall t(t_1 \le t \le t_2) \qquad (2)$$

식 (2)에서 $B(\tau)$는, τ 기간 동안 셀이 존재하는 모든 큐의 집합을 의미하며, Φ_j는 셀이 존재하는 큐 j의 가중치이다.

WFQ에서는 입력되는 모든 패킷에 대하여 가상 시작 시간(Virtual Start Time) $S(q_i^k)$과 가상 종료 시간(Virtual Finish Time) $F(q_i^k)$를 식 (3)에 의해 계산하며, 매 셀 전송시에 가상 종료 시간이 가장 작은 셀을 선택하여 출력 링크로 전송한다.

$$S(c_i^k) = \max\{v(r_{i,k}), F(c_i^{k-1})\}$$
$$F(c_i^k) = S(c_i^k) + \frac{T_{i,k}}{\Phi_i} \qquad (3)$$

식 (3)에서 c_i^k는 큐 i에 k번째 패킷이 유입됨을 의미하고, $r_{i,k}$는 큐 i에 k번째 패킷이 유입된 시간이다. 또한 $F(q_i^{k-1})$는 큐 i에 $k-1$번째 패킷에 대한 가상 종료 시간이며, $T_{i,k}$는 큐 i에 k번째 패킷이 출력 링크의 전송률로 전송할 때 소요되는 시간이다. ATM의 경우에는 패킷의 길이가 53 바이트이므로 $T_{i,k}$는 상수가 된다. WFQ 알고리즘은 모든 큐에 셀이 항상 존재하는 정적 시스템에 대해서는 할당 오류를 제한하여 공평성을 보장할 수 있으나 잦은 가상 시간의 계산에 따른 부하(run time overhead)가 크다는 문제가 있다. 즉, 셀 도착시 가상시간의 계산이 복잡하고 출력링크를 통해 패킷을 전송할 때 다음에 보내야 할 패킷을 결정하기 위하여 각 연결별로 큐에 쌓여 있는 첨두(HOL : Head of Line) 패킷의 가상시간을 정렬하여 가장 작은 값을 갖는 패킷을 전송하여야 하므로 실시간 정렬의 문제가 있다. 이러한 계산의 복잡성과 실시간 정렬의 문제는 연결의 수가 많을 경우 ATM과 같은 고속의 통신망 환경에서는 구현에 어려움이 있다[4,5].

3. 제안한 스케줄링 알고리즘

ATM 망에서 제공하는 서비스는 CBR(Constant Bit Rate), VBR(Variation Bit Rate), ABR(Available Bit Rate), UBR(Unspecified Bit Rate) 등이 있으며 이들은 다수의 트래픽 변수를 만족시켜야 한다. 그러나 기존의 스케줄링 알고리즘에서는 특정 트래픽 변수만을 고려해 정형화기를 구성한 결과, 각 트래픽의 특성을 제대로 만족하지 못하는 결과를 낳았으며 따라서 QoS를 만족시키지 못하였다.

3.1 제안한 정형화기의 구조

ATM 노드로 입력된 셀 들은 UPC/NPC를 거치고 셀 헤더 내의 VPI/VCI 값에 따라 스위칭되어 정형화기로 유입된다. 정형화기에서는 셀을 다음 홉으로 전송하기 전에 협정된 트래픽 변수를 만족시킬 수 있도록 출력 셀 스트림을 조절한다. 그러나 현재까지 연구된 대부분의 정형화기는 특정 트래픽 클래스에 대해 우수한 성능을 나타내고 있으며, ATM 망에서 수용하고 있는 모든 트래픽 클래스를 효율적으로 수용하지 못한다는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 ATM 망이 수용하는 모든 트래픽 클래스에 대해 효과적으로 정형화를 수행할 수 있는 다중 우선순위 기반의 정형화기 구조 및 정형화 알고리즘을 제안한다. 제안한 정형화기의 구조를 그림 2에 도시하였다.

본 논문에서 제안한 정형화기는 우선순위 생성기, 셀 큐, 셀 스케줄러 등의 3개의 모듈로 구성하였다.

우선순위 생성기에서는 유입된 셀이 가지고 있는 트래픽 특성에 맞춰 우선순위를 생성해 준다. 셀 큐에서는 각 서비스 클래스 별로 셀을 저장하며 각 큐 안에서는 가중치별로 셀이 정렬된다. 각 큐는 셀 스케줄러로부터 신호를 받아 셀을 출력할 것인지를 결정한다. 셀 스케줄러는 우선순위 생성기에서 만들어진 가중치를 바탕으로 먼저 서비스 해줄 큐를 선택하여 선택된 큐에 대하여 출력신호를 보낸다.

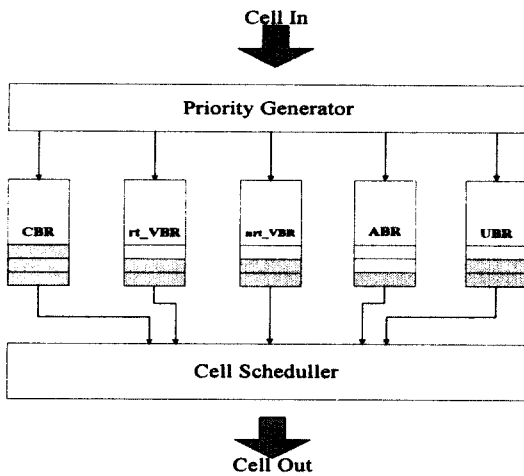



그림 2. 제안한 정형화기의 구조

3.2 우선순위 생성기

ATM 교환기의 출력단에서는 교환기를 거쳐나가면서 연결을 맺을 때 각 서비스 클래스 별로 협상된 트래픽 변수의 성질을 읽고 빠져나갈 수 있는데 이러한 경우를 방지하기 위하여 다양한 트래픽 성질을 고려하여 서비스의 우선순위를 정하는 기준이 되는 값을 만들어준다. 이런 경우, 셀의 시간에 따른 적합성을 판단하는 것인데 가장 많이 쓰이는 것이 ITU-T의 권고안 I.371에 정의되어 있는 GCRA (Generic Cell Rate Algorithm)이다. GCRA의 구체적인 방법에는 VSA(Virtual Scheduling Algorithm), CS-LBA (Continuous State Leaky Bucket Algorithm) 등이 있는데 본 논문에서는 VSA를 사용하였다.

그림 3에서 $t_d(k)$ 는 타이머로부터 공급되는 현재 시간이다. $TDT(k)$ 는 k번째 셀의 이론적 전송 시간(Theoretical Departure Time)이다. 또한 $ADT(k+1)$ 는 $k+1$ 번째 셀에 대한 전송 허용 시간(Allowable Departure Time)이고 CBR 큐의 두 번째 가중치에 해당된다. τ는 셀 지연 변이의 영향을 고려하기 위한 CDVT(Cell Delay Variation Tolerance)이다. I (Increment)는 셀 간의 전송 간격 시간을 나타낸다. 본 논문에서 사용된 VSA는 셀의 적합성을 미리 판단해 주어서 나중에셀 스케줄러에서 각 큐에 대하여 출력 요구를 할 경우 그 시간에 맞는 셀을 출력할 수 있도록 하였다. 그림 3의 VSA를 참조해 만들어진 가중치를 표 1에 정리하였다.

표 1은 각 서비스 클래스의 가중치 뿐만 아니라 4단계로 나뉘어진 큐의 우선 순위도 나타내고 있는데 즉, 서비스 클래스를 크게 실시간과 비실시간 서비스 두 개로 나누어 실시간 중에서도 CBR 서비스 큐에 우선순위를 두고 또한 비실시간 서비스 중에서는 nrt_VBR과 ABR 큐에 우선 순위를 주었다.

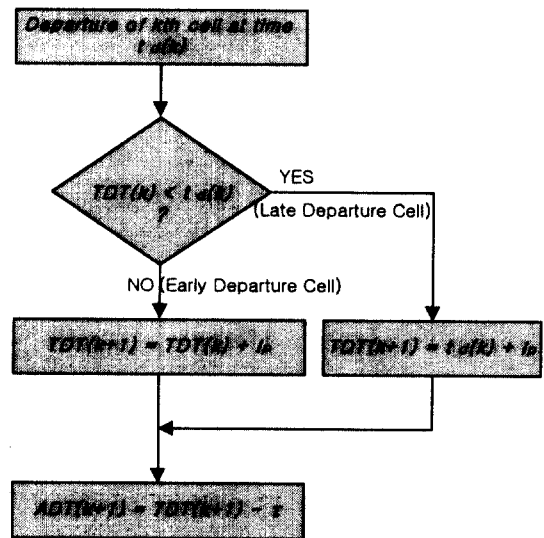



그림 3. 가중치 생성을 위한 VSA(Virtual Scheduling Algorithm)

또한 기존에 제안되어있는 스케줄링 알고리즘에서 찾아 볼 수 있는 대역폭이 작은 트래픽이 다른 대역폭이 큰 트래픽의 우선순위에 밀려 큐내에서 계속적으로 전송이 지연되는 것을 방지하기 위해 셀 카운터를 두었다. 표 1에서 CBR 서비스는 첫 번째 가중치가 최대 셀 전송률(PCR : Peak Cell Rate)를 가지고 VSA에서 $TDT_P(k+1)$ 을 구한 값이고 지연에 민감한 CBR 서비스의 성질을 감안하여 두 번째 가중치는 CDVT를 고려하여 얻는 $ADT_P(k+1)$ 이 된다.

표 1. 각 서비스 클래스별 가중치 테이블

트래픽 서비스		제 1 가중치		제 2 가중치		제 3 가중치
		가중치	I(Increment)	가중치	I(Increment)	
Real time service	CBR	$TDT_P(k+1)$	$I_P=\frac{1}{PCR}$	$ADT_P(k+1)$	$I_P=\frac{1}{PCR}$	N/A
	rt_VBR	$TDT_S(k+1)$	$I_S=\frac{1}{SCR}$	$TDT_P(k+1)$	$I_P=\frac{1}{PCR}$	N/A
Non-real time service	nrt_VBR	$TDT_S(k+1)$	$I_S=\frac{1}{SCR}$	$TDT_P(k+1)$	$I_P=\frac{1}{PCR}$	$\frac{\lambda_i}{C_i}\times N$
	ABR	$TDT_M(k+1)$	$I_M=\frac{1}{MCR}$	$TDT_P(k+1)$	$I_P=\frac{1}{PCR}$	$\frac{\lambda_i}{C_i}\times N$
	UBR	N/A	N/A	N/A	N/A	$\frac{\lambda_i}{C_i}\times N$

본 논문에서는 지연에 민감한 rt_VBR(real-time VBR) 서비스에 대하여 nrt_VBR(non-real time VBR)보다 먼저 서비스 할 수 있는 기회를 주어 지연 변이에 대해 민감한 특성을 고려하였다. 그러나 기본적인 VBR의 특성은 rt_VBR과 nrt_VBR 모두 같기 때문에 첫 번째 가중치와 두 번째 가중치는 동일하다. 즉, rt_VBR 서비스에서는 VBR 서비스의 가변적인 셀 전송률을 감안하여 평균 전송률인 *SCR*(Sustainable Cell Rate)를 유지하는 것으로 첫 번째 가중치를 주었으며 가변적으로 변하는 셀 전송중의 최대 셀 전송률을 감안하여 최대로 서비스 받을 경우를 두 번째 가중치로 주었다. nrt_VBR도 마찬가지로 같은 우선순위를 가지며 마지막 세 번째 셀 카운터를 가지는 것이 rt_VBR 서비스와 다른 점이다.

셀 카운터는 각 연결(λ_i) 당 나가야 할 셀 개수를 나타내는 것으로 nrt_VBR과 ABR이 모두 현재시간에 만족하는 적합한 셀 정보를 출력하여 두 클래스 사이에서 우선순위를 결정할 필요가 생길 경우 서비스의 우선순위를 정하기 위해 셀 카운터를 사용한다.

$$\frac{\lambda_i}{C_i}\times n \qquad (4)$$

C_i : 전체 링크의 총합, λ_i : 자신의 대역폭, n : 전체 링크의 초당 셀 갯수

식 (4)과 같은 방법으로 구할 수 있으며 예를 들어 전체 대역폭이 C_1을 갖는 VP(Virtual Path) 링크의 VC (Virtual Channel)1에서의 가장 처음 셀은 $\frac{\lambda_1}{C_1}\times n$ 인 셀 카운터 값을 갖고 두 번째 셀은 $\frac{\lambda_1}{C_1}\times(n-1)$ 인 값을 갖는다. 따라서 많은 셀이 전송되어 각 연결 당 셀이 얼마 남지 않았을 경우 셀 카운터도 줄어들게 된다. 각 VC가중치로만 셀 스케줄링을 할 경우 생길 수 있는 계속 나가지 못하고 쌓여 있는 문제에 해결할 수 있는 방법이며 따라서 작은 트래픽이라 하더라도 큐내에서의 지연을 효과적으로 제어하여 셀 스케줄러의 공정성을 좀더 높일 수 있는 잇점이 생긴다.

ABR 서비스도 nrt_VBR과 마찬가지 방법으로 우선순위가 결정된다. 셀 지연에는 비교적 덜 민감하나 셀 손실률에 대한 보장을 요구하는 트래픽 특성상 최소 전송률인 MCR(Minimum Cell Rate)를 첫 번째 가중치로 하고, nrt_VBR처럼 셀 전송이 최대로 될 때, 즉 셀 간격이 최소화 될 경우를 두 번째 가중치로 했다. 세 번째 가중치인 셀 카운터의 의미는 nrt_VBR과 동일하다. 마지막으로 UBR 서비스의 경우 셀지연과 셀 손실에 관한 QoS를 보장할 필요가 없는 "best effort"방식의 성질을 가지고 있다. 따라서 특별한 가중치를 생성하지 않으며 다만 큐 안에서의 정렬을 위해 셀카운터를 세 번째 가중치로 설정하였고 나머지 제 1가중치와 제 2가중치는 N/A(Not Available)로서 존재하지 않는다.

3.3 우선순위 큐

우선순위 생성기에서 만들어진 셀 가중치들은 각 서비스 별로 큐에 들어가고 가중치 별로 정렬된다. UBR 서비스 큐에서 셀 카운터를 가지고 정렬하는 방법과 달리 나머지 큐들에서는 모두 첫 번째 가중치를 가지고 셀 정보를 정렬하게 된다. 셀의 가중치 정

보들은 그림 2에서처럼 서비스별로 큐로 들어가 정렬하게 되는데 모두 첫 번째 가중치의 크기를 가지고 정렬하게 된다. "best effort" 방식인 UBR 서비스 큐 같은 경우 특별히 큐를 정렬하지 않는다.

3.4 셀 스케줄링(Scheduling) 알고리즘

본 논문에서 제안한 셀 스케줄러에서는 그림 4에서 볼 수 있는 것 처럼 4단계의 우선순위를 갖고 각 큐에 대하여 HOL에 있는 셀 가중치를 검사하게 된다. 각 큐에서는 HOL(Head Of Line)에 있는 첫 번째 가중치 값을 타이머에서 공급되는 현재 시간과 비교하여 현재시간보다 크거나 같으면 전송가능한 셀로 판정한다. 즉, 가장 지연에 민감한 CBR이 서비스를 위해 먼저 HOL에 있는 셀의 가중치를 검사하고 그 다음 rt_VBR, 그리고 nrt_VBR과 ABR, 마지막으로 UBR이 서비스를 위한 검사를 수행하여 가중치가 조건에 만족할 경우 먼저 서비스 해주는 것이다. 구체적으로 상술하면 먼저 CBR 서비스 큐의 HOL(Head Of Line)에 셀이 존재하는지 검사하고 존재할 경우 가중치와 현재 시간을 비교하여 전송가능한 셀로 판정되었을 경우 큐에서 셀을 출력시키고, 만족하는 가중치가 없을 경우 rt_VBR 서비스 큐에서 CBR 큐에서과 같은 방식으로 검사하고 만족된 셀을 셀을 출력한다. 이는 실시간 서비스이고 지연에 민감한 CBR 서비스와 가변적인 전송률을 갖고 있기는 하지만 역시 지연에 민감한 성질을 가지고 있는 rt_VBR 서비스를 우선적으로 처리하여 QoS를 보장하기 위해서이다. 만일 CBR과 rt_VBR 큐에서 모두 출력된 가중치가 없을 경우 UBR을 제외한 나머지 큐인 nrt_VBR과 ABR 서비스 큐를 같은 방식으로 확인한다.

두 큐의 HOL에 셀이 존재할 경우 동시에 nrt_VBR과 ABR을 만족하는 가중치가 만족한다면 세 번째 가중치인 셀 카운터 값이 높은 것을 먼저 처리해 준다. 만일 nrt_VBR과 ABR 큐의 HOL에 셀이 존재하지 않을 경우 UBR 큐의 HOL에 셀이 존재하는지 검사하여 존재하면 출력한다.

두 서비스 클래스 큐 중에서 어느 한 쪽만 전송가능한 셀을 가지고 있을 경우 그대로 출력하고 두 개의 큐 모두 만족하는 가중치가 없을 경우 UBR 큐의 HOL에 셀 가중치가 쌓여 있다면 그것을 출력하여 처리해 주고 아직 쌓여 있지 않다면 스케줄러는 각 서비스 큐에 두 번째 가중치를 호출하여 첫 번째

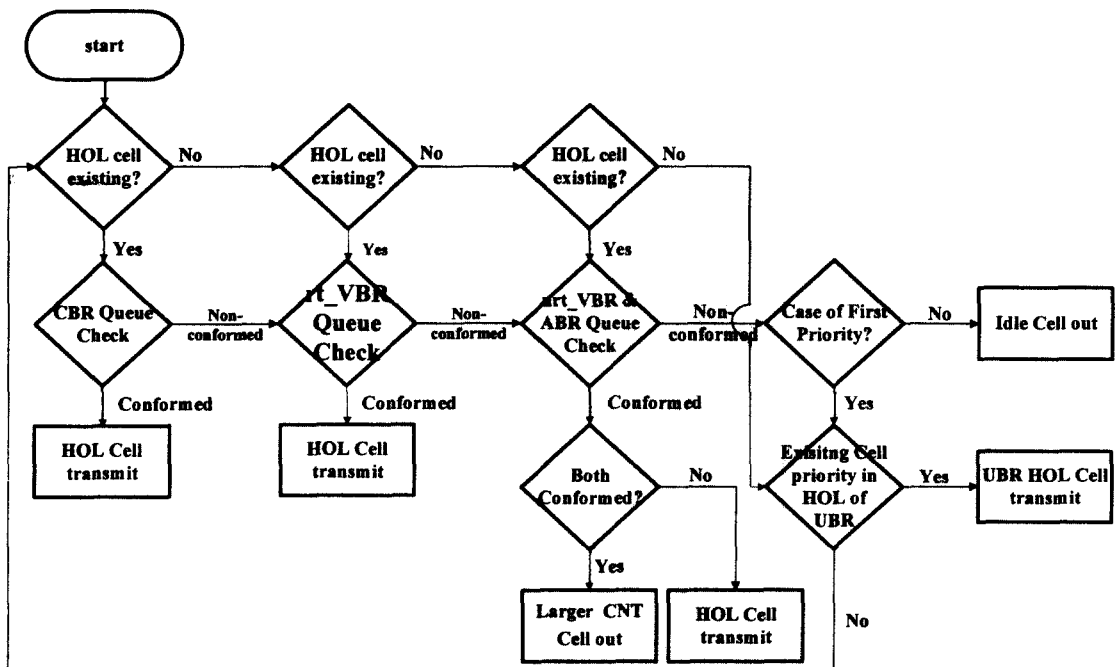



그림 4. 제안한 셀 스케줄링 알고리즘

가중치에 대한 과정을 반복한다.

이 경우 마지막 UBR 큐에서 HOL에 대기하는 셀 가중치가 없다면 스케줄러는 빈 셀(Idle Cell)을 출력하게 한다.

4. 모의실험 및 성능평가

본 논문에서 제안한 정형화기의 성능평가를 위하여 기존의 WRR 및 WFQ 스케줄링 알고리즘을 기반으로 하는 정형화기를 대상으로 모의실험을 수행하였다. **기존의 알고리즘이** per-VC 큐잉이고 제안한 알고리즘이 per-class 큐잉이므로 모의실험에서는 각 VC마다 클래스 큐를 두어서 시뮬레이션 환경을 통일시켰다. 모의실험은 SMPL과 C++ 언어를 사용하여 수행하였으며, 성능평가는 셀 손실률 및 실시간 서비스 클래스의 셀 전송 지연(Cell Transfer Delay)을 기준으로 하였다[6].

4.1 모의실험 모델

그림 5에서 도시한 모의실험 모델에서 노드 A는 출력 링크로 전송할 셀을 저장하고 있는 유한 길이의 큐가 각 서비스 클래스별로 존재한다고 가정하였다.

각 입력 트래픽은 노드 A에서 스위칭되어 큐로 저장되므로 지수 분포에 따라 발생시켰고, 출력 링크로의 셀 전송은 1개의 셀 전송 시간 단위로 전송하였다. A의 셀 스케줄러에 의해 출력 링크로 전송된 셀은 노드 B의 입력단에서 각 연결마다 독립된 UPC/NPC를 거치게 되므로 모의실험 모델에서 셀 손실은 노드 A의 특정 큐에 셀이 완전히 점유되어 있는 상황에 해당 큐에 새로운 셀이 유입되는 경우와 노드 B의 해당 UPC/NPC에 의해서 만족치 못한 셀로 판정되는 경우에 발생하게 된다. 즉 노드 A내의 큐 크기에 따른 셀 손실과 노드 B의 UPC/NPC에 의한 셀 손실을 모두 포함하여, 실제 ATM 망에서 발생하는 셀 손실을 고려하였다. 모두 20개의 VC 레벨이 하나의 VP를 공유하고 있는 것으로 하였다. 20개의 대역폭을 위하여 가정된 값은 표 2와 같다.

본 논문의 모의 실험에서는 셀간의 전송 간격 시간 I_i (Increment)의 값을 각 연결에 대한 PCR_i의 역

표 2. 모의실험 변수

대역폭	값(단위 : Mbps)	서비스 클래스
m1	6	rt_VBR
m2	2	ABR
m3	10	CBR
m4	5	CBR
m5	6	CBR
m6	3	UBR
m7	7	ABR
m8	9	nrt_VBR
m9	1	UBR
m10	3	ABR
m11	10	CBR
m12	15	rt_VBR
m13	1	UBR
m14	5	ABR
m15	2	UBR
m16	7	nrt_VBR
m17	5	rt_VBR
m18	4	CBR
m19	13	CBR
m20	3	nrt_VBR
합계	117	

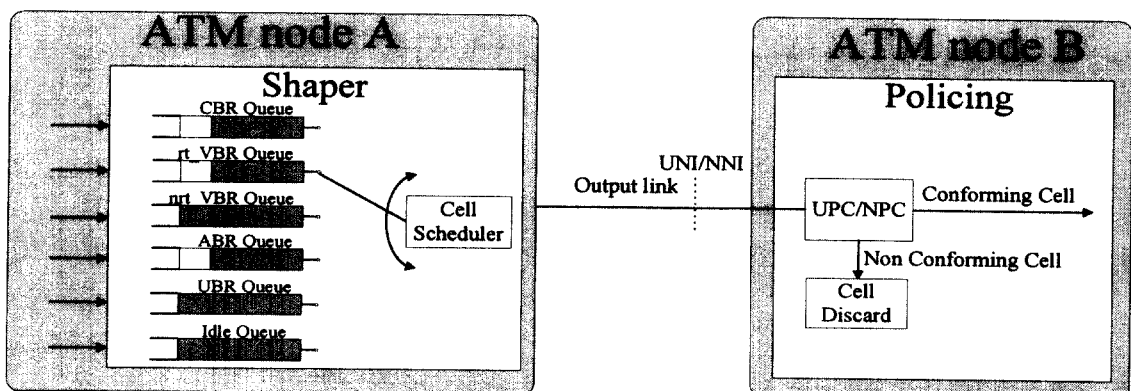



그림 5. 모의실험 모델.

수를 사용하였으며, CDVT인 τ는 1개의 셀 전송 시간을 기준으로 25 셀 전송 시간에서 300 셀 전송 시간까지 20 단위로 증가시켰고, 큐의 크기는 25에서 300 셀 크기까지 25 단위로 변화시켰다. 즉 본 논문에서는 다음의 두 가지 경우에 대하여 모의실험을 하였다.

- 큐를 100 셀 크기로 고정하고 τ를 25에서 300 셀 전송 시간까지 변경
- τ를 75 전송시간으로 고정하고 큐를 25에서 300 셀 크기까지 변경

구체적으로 WRR의 경우 가장 작은 PCR을 갖는 연결에 대한 가중치를 1로 하여 다른 연결의 가중치를 할당하였다. 이 가중치는 라운드가 진행될 때마다 1씩 감소되어 가중치가 0인 연결에 대해서는 셀 전송이 금지되며, 모든 연결에 대한 가중치가 0이 되었을 때 전체 연결에 대한 가중치를 초기화하여 새로운 라운드를 시작한다.

WFQ의 경우, 식 (3)에 의해 각 입력 셀에 대한 가상 종료 시간을 구하였고, 셀 출력시에 가상 종료 시간이 가장 작은 값을 갖는 셀을 전송하였다. 식 (3)의 Φ_i는 식 (5)에 의해서 구하였다.

$$\Phi_i = \frac{PCR_i \ of \ i \ connection}{\sum PCR \ \text{for} \ all \ connection} \tag{5}$$

4.2 결과 및 성능 평가

큐의 크기를 100으로 고정하고 τ를 25에서 300까지 변화시킨 모의실험 결과를 그림 6~그림 7에 도시하였다. 그림 6은 τ값의 변화에 대한 전체 셀 손실률을 나타낸 것으로 제안한 정형화기가 가장 낮은 셀 손실률을 발생한다는 것을 알 수 있다. 다음단의 UPC/NPC에서 GCRA를 실행할 경우 참조하는 트래픽 변수가 제안한 알고리즘의 가중치로 채택되어 전송에 적합한 셀을 판단시 참조되기 때문이다. 특히 제안한 알고리즘은 τ값이 작을 경우 가장 셀 손실률이 작게 나타났으며 τ값이 커질수록 기존의 알고리즘과 비슷한 양상을 보였다. 이것은 제안한 알고리즘이 실시간 서비스 클래스, 특히 CBR 큐에 관하여 우선순위를 두었고 적합성을 판단하는 가중치 중 두 번째에서 τ값이 참조되었기 때문이다.

비실시간 서비스 트래픽인 nrt_VBR, ABR이나 또는 UBR 서비스 트래픽에서 보다 CBR 서비스 트래픽과 rt_VBR 서비스 트래픽에서 더욱 중요한 문제이기 때문에 실시간 서비스 트래픽의 셀 전송지연만을 대상으로 기존의 알고리즘과 비교하였다. 그림 7에서 τ값의 변화에 따른 실시간 트래픽의 평균 셀 전송 지연을 나타내었다. τ값이 작을 경우 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수한 성능을 보였다. 이것은 제안한 알고리즘이 셀 스케줄링을 위한 큐의 HOL의 셀을 검사시 우선적으로 실시간 서비스 큐인 CBR과 rt_VBR 큐를 먼저 검사하기 때문이다. τ값이 커질 경우 제안한 알고리즘의 셀 전송지연이 선형적으로 증가하여 기존의 알고리즘에서 보다 커졌다. 역시 가장 먼저 적합성을 조사하는 CBR 큐에서의 두 번째 가중치에 τ값이 참조되어 그대로 반영된 것으로 제안한 알고리즘에서의 τ값의 적정한 유지가 필수적임을 알 수 있다.

τ값을 75로 고정하고 큐의 크기를 25에서 300까지 변화시킨 모의 실험 결과를 그림 8~9에 도시하였다. 그림 8은 큐의 크기 변화에 대한 전체 셀 손실률을

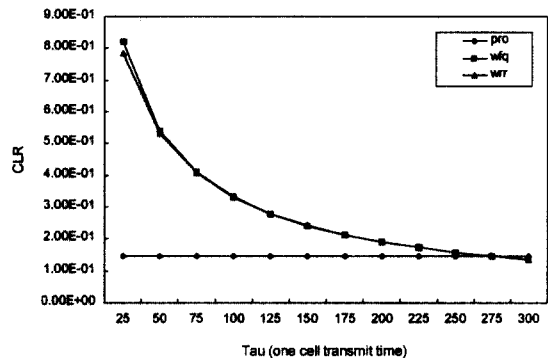



그림 6. τ값의 변화에 대한 전체 셀 손실률(Queue Size : 100)

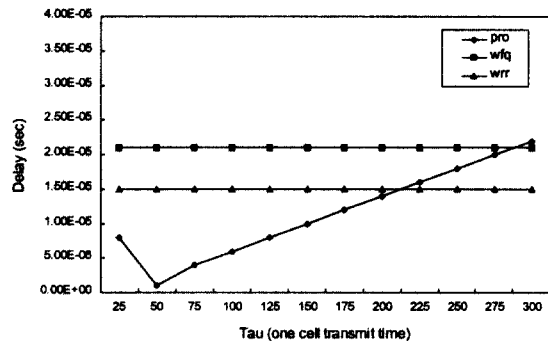



그림 7. τ값의 변화에 대한 실시간 서비스 트래픽의 셀 전송 지연(Queue Size : 100)

나타낸 것으로 본 논문에서 제안한 정형화기의 셀 손실률이 가장 낮게 발생하며, WFQ 정형화기와 WRR 정형화기는 거의 동일한 성능을 나타내고 있다. 이는 기존의 알고리즘에서는 다음단의 UPC/NPC를 고려하지 않았으나 제안한 알고리즘에서는 다음단의 UPC/NPC의 GCRA를 미리 고려한 가중치를 참조하여 실행되는 것으로 볼 수 있다.

그림 9는 큐 크기 변화에 대한 실시간 트래픽의 셀 전송 지연을 나타낸 것으로 기존의 알고리즘은 큐의 크기에 거의 무관하게 변화가 없지만 제안된 알고리즘은 조금씩 지연이 증가는 것으로 나타난다. 이것은 큐사이즈가 커질수록 입력된 셀을 가중치 별로 정렬하는 셀의 개수가 증가하므로 큐내에서의 대기 시간이 증가한 것으로 볼 수 있다. 결론적으로 WRR, WFQ 정형화기의 경우, 링크의 전송률(throughput)을 높이는데 주력하였기 때문에 실시간 서비스 트래픽에 관한 셀 전송 지연에 관해서 특별히 고려하지 않았고 따라서 제안한 알고리즘보다 지연이 많이 나타나며, 또한 다음 단의 ATM 노드에서 수행하는 UPC/NPC에 의한 셀 손실이 많이 발생하는 문제점이 있다는 것을 확인하였다. 반면에 제안한 정형화기는 각 서비스 클래스가 가지고 있는 트래픽 변수를 큐에서 출력여부를 가리는 가중치로 선택하므로써 다음 입력단에서의 UPC/NPC에 관해 셀 손실률이 기존의 알고리즘보다 줄어든 것을 알 수 있고 실시간 서비스 클래스인 CBR과 rt_VBR 큐에 관한 출력여부 검사를 다른 큐보다 우선적으로 하므로써 실시간 서비스 트래픽에 관한 셀 전송지연이 기존의 알고리즘보다 우수한 것을 알 수 있다. 따라서 제안한 정형화기는 기존의 알고리즘보다 낮은 전체 셀 손실률을 얻을 수 있고 셀 스케줄러가 각 클래스 별로 적합성을 판단시 우선적으로 실시간 서비스에 대하여 검사하므로 셀 전송 지연에 민감한 실시간 CBR 및 rt_VBR 트래픽의 정형화를 보장할 수 있다는 결론을 얻는다.

그림 8. 큐 크기 변화에 대한 전체 셀 손실률(Tau : 75)

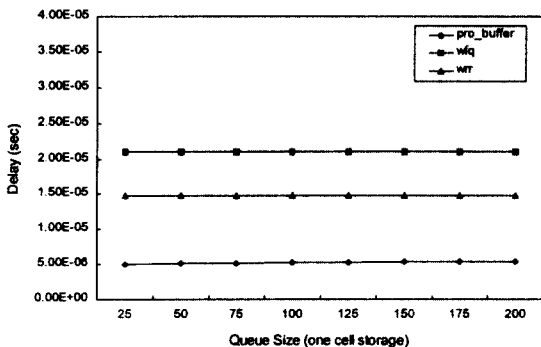



그림 9. 큐 크기 변화에 대한 실시간 서비스 트래픽의 셀 전송 지연(Tau : 75)

5. 결 론

본 논문에서는 모든 ATM 서비스 클래스를 수용하는 셀 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 제안한 셀 스케줄링 알고리즘은 각 서비스 클래스를 크게 실시간 서비스와 비실시간 서비스로 분류하여 그 안에서도 서비스를 받을 수 있는 우선순위를 4단계로 나누었다. 특히 지연에 민감한 트래픽인 CBR과 rt_VBR 큐에서의 셀 적합성 검사를 우선적으로 실행하므로서 실시간 서비스 트래픽에 관한 QoS를 보장할 수 있고 각 서비스 클래스 별 트래픽 변수를 가중치를 생성하여 그것에 따라 공정한 서비스를 할 수 있으며, 비실시간 서비스에서 셀 카운터를 두어 대역폭이 작은 트래픽이 큐 내에서 지연되는 것을 방지할 수 있다. 제안한 알고리즘은 기존의 스케줄링 알고리즘과 모의실험으로 우수성을 입증하였다. 향후 하드웨어적으로 접근하여 제안한 정형화기를 구현할 예정이다.

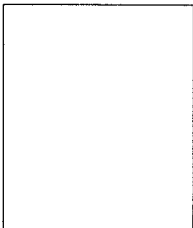
참 고 문 헌

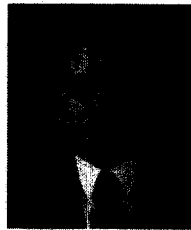
[1] ITU-T Recommendation I.371, Traffic control and congestion control, June 1992.

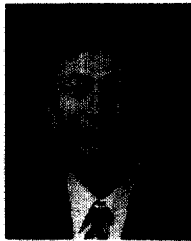
[2] Manolis Katevenis et al., "Weighted Round-Robin Cell Multiplexing in a General-Purpose

ATM Switch Chip," IEEE J. Select. Areas in Commun., Vol. 9, No. 8, pp.1265-1279, Oct. 1991.
[3] Norio Matsufuru and Reiji Aibara, "Efficient Fair Queueing for ATM networks using Uniform Round Robin," IEEE INFOCOM '99, Vol. 1, pp.389-397, March 1999.
[4] Hui Zhang, "Service disciplines for guaranteed performance services in packet-switching networks," Proceeding of IEEE, vol. 83, No. 10, pp. 1374-1396, 1995.
[5] M. Shreedhar, and George Varghese, "Efficient fair queueing using deficit round-robin," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 4 No. 3, pp. 375-385, 1996.
[6] M. H. MacDougall, "Simulating Computer Systems (Techniques and Tools)," MIT Press, 1987.

권 재 우

1999년 한양대학교 제어계측공학과 졸업(학사)
1999년 3월~현재 한양대학교 전자·전기·제어공학과 석사 과정
관심분야 : ATM, Wireless ATM, ASIC
e-mail : kirhoff@asic.hanyang.ac.kr

구 본 혁

1998년 한양대학교 제어계측공학과 졸업(학사)
2000년 한양대학교 전자·전기·제어공학과 석사 학위 취득
2000년 3월~현재 LG전자 중앙연구소 ATM H/W 실 연구원
관심분야 : ATM SWITCH, 망동기, ASIC
e-mail : kudosa@lge.com

조 태 경

1984년 3월 한양대학교 전자통신과 졸업(학사)
1986년 3월 한양대학교 전자통신과 대학원 졸업(공학석사)
2001년 8월 한양대학교 전자통신과 대학원 졸업(공학박사)
1986년 1월~1996년 2월 LG정보통신 중앙연구소 선임연구원
1996년 3월~현재 동서울대학 전기과 조교수
관심분야 : ATM Traffic Control, Access Network
e-mail : tkcho@dsc.ac.kr

최 명 렬

1983년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
1985년 미시간주립대학교 컴퓨터공학 졸업(공학석사)
1991년 미시간 주립대학교 컴퓨터 졸업(공학박사)
1991년 3월~10월 생산기술 연구원 전자정보실용화센터 조교수
1991년 11월~1992년 8월 생산기술연구원 산하 전자부품종합기술연구소 선임연구원
1992년 9월~현재 한양대학교 전자·전기·제어공학과 부교수
관심분야 : ASICs, 신경회로망 칩 설계, 스마트카드 응용, ATM
e-mail : choimy@asic.hanyang.ac.kr